



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Richard Mercer

Kaukolämpöverkon tukikattilan automatisointi

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

14.5.2020

Tekijä Otsikko	Richard Mercer Kaukolämpöverkon tukikattilan automatisointi
Sivumäärä Aika	23 sivua + 1 liite 14.5.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine	Automaatiotekniikka
Ohjaajat	lehtori Markku Inkinen kehityspäällikkö Jari Alin
<p>Tämän työn tavoite on automatisoida Hangon kaukolämpöverkon tukikattilan toiminta. Automaattisella tarkoitetaan tässä tapauksessa sitä, että kyseinen kattila(laitos) seuraa kaukolämpöverkon eri pisteissä vallitsevia paine-eroja ja sen perusteella käynnistyy, sammuu ja säätyy itsenäisesti. Laitoksen automaatiolaitteisto oli päivitetty vuonna 2018 nykyaikaiseksi ja laitoksen peruskäyttösovellus on ohjelmoitu ulkopuolisen toimijan puolesta. Tähän työhön sisältyy laitoslogiikan ohjelmoinnin lisäksi verkon eri mittapisteiden tiedonsiirron reititys kyseiseen automaatiolaitteistoon ja etävalvomon käyttöliittymä.</p> <p>Työssä käydään läpi esiselvitykset työhön liittyvistä komponenteista, toteutus ja koestus. Esitellään lyhyesti käytetyt ohjelmistot. Annetaan yhteenveto, jossa pohditaan työn onnistumista teknisesti sekä mitä aineetonta hyötyä työstä oli.</p>	
Avainsanat	kaukolämpö, automatisointi, ohjelmointi, PLC, tiedonsiirto

Author Title	Richard Mercer Automated Use of a District Heating Support Boiler
Number of Pages Date	23 pages + 1 appendix 14 April 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Degree Programme in Electrical and Automation Engineering
Professional Major	Automation Engineering
Instructors	Markku Inkinen, Senior Lecturer Jari Alin, Chief of development
<p>The objective of this thesis work was to automate a support boiler plant that is part of Hanko's district heating network. Automating, in this instance, means that the boiler plant in question will evaluate the differential pressure of the district heating network at several different locations and start, stop and control output autonomously. The automation equipment of the plant has been updated to modern standards in 2018 and the basic manual control logic had been programmed by a contractor at the same time. This work included, in addition to logic programming, the routing of measurement variables from the different locations of the district heating network to the boiler plant in question and the execution of a user interface page for off-site operation.</p> <p>This thesis will go through the preliminary findings of the components related to the work and the execution and testing of the work. The software that was used will be briefly introduced. A summary is included, in which the success of the work and the immaterial benefits that were gained will be evaluated.</p>	
Keywords	district heating, automation, programming, PLC, data transfer

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Esiselvitys	2
2.1	Tukilaitos - LK273	2
2.2	Etämittapiste - Koulu	3
2.3	Etämittapiste - Kulmakatu	4
2.4	KPA-laitos - LK174	5
2.5	Etämittapiste – LK162	6
3	Toteutus	7
3.1	Käytettävät ohjelmistot	7
3.1.1	Citect SCADA	7
3.1.2	Crimson	7
3.1.3	SoMachine	8
3.1.4	Unity	9
3.2	Tarvittavat muuttujat LK273:lle	9
3.3	Muuttujien siirto LK273:lle	11
3.4	LK273:n ohjelmointi	12
3.4.1	Käynnistys ja sammutussekvenssit	12
3.4.2	Automaattinen käynnistys ja sammutus	14
3.4.3	KL-paine-eron säätöpiiri	16
3.5	Tarpeelliset putkistomuutokset	18
4	Koestus	19
5	Yhteenveto	21
5.1	Mitä saatiin aikaiseksi	21
5.2	Valvomokuva	21
5.3	Pohdintaa	22
	Lähteet	24

Liitteet

Liite 1. LK174: KL-verkon painemittausten kalibroinnit

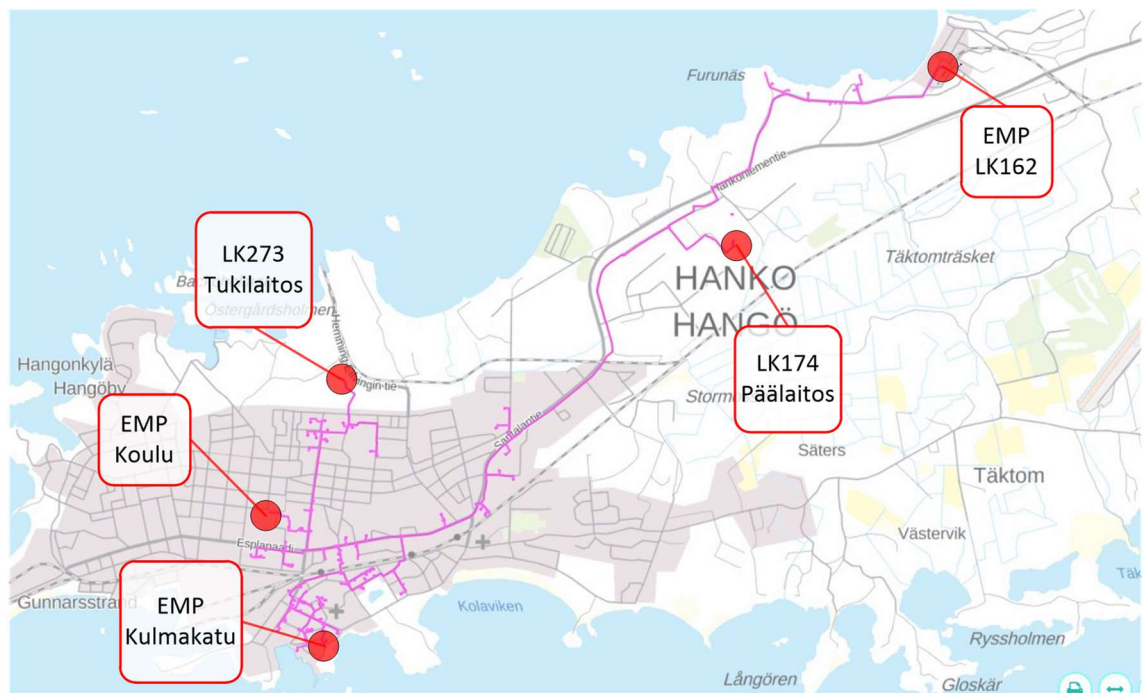
Lyhenteet

HMI	Human to machine interface. Ohjauspaneeli.
IO	Input/Output.
KL	Kaukolämpö.
KPA	Kiinteän polttoaineen laitos.
LKxxx	Advenin nimeämiskäytäntö lämpökeskuksille. LK(lämpökeskus)xxx(juokseva numerointi).
Modbus-TCP	Tietoliikenneverkossa toimiva sarjaliikenne protokolla [1].
PID-säädin	Proportional-integral-derivative-säädin. Säädin koostuu kolmesta toiminnasta: suhteesta, integroinnista ja derivoinnista. Tämä on tyypillisin säädin nykyaikaisessa prosessiautomaatiossa.
PLC	Programmable logic controller. Ohjelmoitava logiikka.
SCADA	Supervisory control and data acquisition. Reaaliaikaisen datan monitorointi ja ohjausjärjestelmä.
VPN	Virtual Private Network. Yksityinen salattu tietoliikennetunneli.

1 Johdanto

Tämän työn tilaaja oli Adven Oy. Adven tarjoaa ympäristöä säästäviä energiaratkaisuja teollisuuteen ja kiinteistöille kokonaispalvelu periaatteella. Advenilla on yhteensä yli 300 energialaitosta Viron, Ruotsin ja Suomen kattavalla alueella, joiden yhteenlaskettu teho on lähes 2 gigawattia.

Tämän työn kohteena oleva kaukolämpölaitos, LK273, sijaitsee Hangon kaukolämpöverkon läntisimmässä pisteessä (ks. kuva 1). Hangon kaukolämpöverkon päätuotantolaitos on verkon keskivaiheilla sijaitseva KPA-laitos LK174. LK174:n päätehtävä ja vastuu on tuottaa katkeamatonta höyryä viereiseen prosessiteollisuuslaitokseen. Kapasiteettinsa ansiosta voidaan tällä vähäisen hiilijalanjäljen laitoksella tuottaa myös tarvittava energia Hangon kaukolämpöverkkoon. Biokattilalaitoksen varjopuolena on, että polttoaineen laadun vaihtelemisen ja moninaisen syöttöjärjestelmän ansiosta tuotantovarmuus ei ole itsekseen tarpeeksi luotettava katkeamattomaan tarpeeseen. Biokattilan yhteydessä on höyrytuotannon varmistamiseksi neljä kevytöljykattilaa (tilanne 2019.12.2019).



Kuva 1. Hangon kaukolämpöverkko ja tähän työhön liittyvät laitokset sekä etämittapisteet.

Ennen tätä työtä vaati LK273:n käynnistäminen etävalvomohenkilökunnan havahtumisen tuotantohäiriöön päälaitos LK174:llä, paikallisen laitoshenkilön käymään laitoksella ja etävalvomosta käsin ohjata erikseen pumppuja, venttiilejä ja poltinta. Työn päämääränä oli poistaa kaikki edellä olevat vaiheet automatisoinnilla ja putkistomuutoksilla. Haettuja etuja olivat kaukolämpöverkon luotettavuuden kohotus, ylimääräisten henkilötyötuntien poisto, vähentää valvomohenkilökunnan työmäärää sekä tukea höyryntuotantoa vähentämällä LK174:n tarvetta tuottaa kaikkea energiaa kaukolämpöverkkoon tuotantohäiriön aikaan.

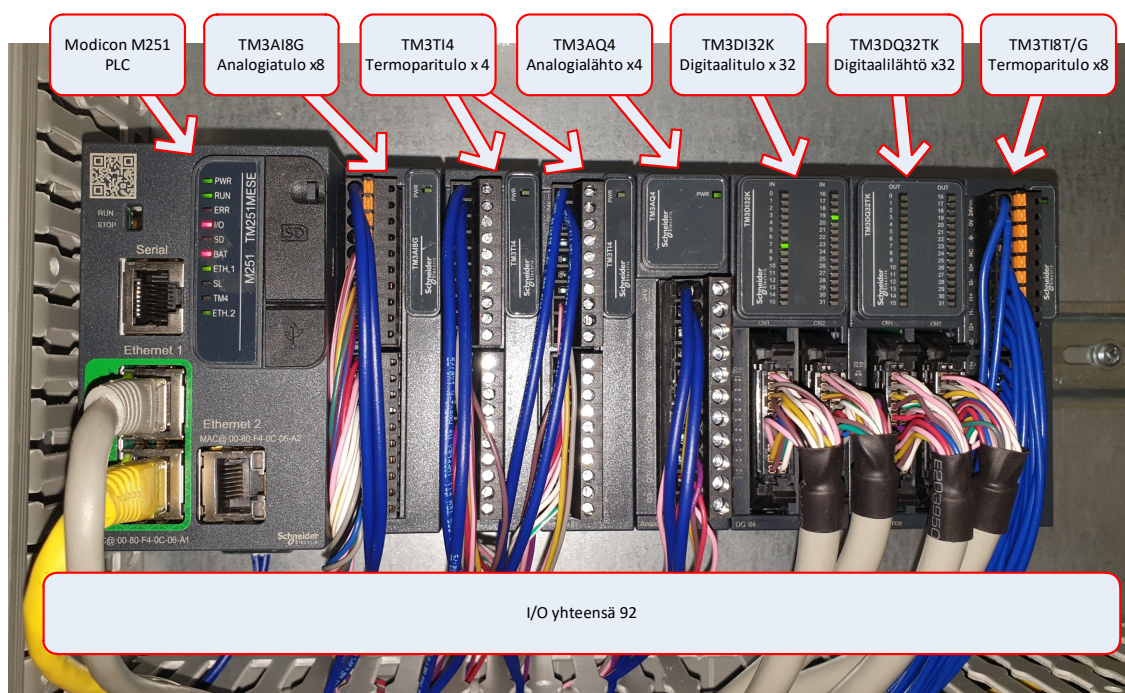
Tähän työhön sisältyi laitosohjelmoinnin lisäksi, verkon eri mittapisteiden tiedonsiirron reititys kyseiseen automaatiolaitteistoon, etävalvomon käyttöliittymä sekä putkistomuutokset laitoksella.

2 Esiselvitys

2.1 Tukilaitos - LK273

LK273 on työn varsinaisena kohteena oleva laitos. Laitos sijaitsee kaukolämpöverkon läntisimmässä päässä (ks. kuva 1). Laitoksen pääkomponentit ovat 2 kpl raskasöljysäiliöitä, öljyn kuumennin, öljypoltin, tulitorvikattila, sekoituspumppu, kattilaventtiili, KL-sekoitusventtiili, kaukolämpöpumppu, poltinkeskus, laitoslogiikka ja näihin liittyvät instrumentoinnit. Laitoksen teho on 4 MW.

Laitoksen logiikka on saneerattu vuoden 2018 loppupuolella ja koostuu nyt Schneiderin Modicon M251 modulaarisesta PLC:stä (ks. kuva 2) sekä saman sarjan IO-korteista. Lisäksi automaatiokeskukseen kuuluu mbNET:n 3G-reititin sekä Schneiderin HMI-kosketusnäyttö.



Kuva 2. LK273:n M251 modulaarinen PLC.

PLC:n ohjelmoinnin oli toteuttanut ulkopuolinen toimija. Ohjelma sisälsi komponenttikoh-
taisen käsikäyttöohjauksen, kaksi PID-säädintä, analogiamittausten skaalaukset, tilatie-
dot ja hälytykset. Tiedonsiirto PLC:n ja HMI:n sekä LK174:llä sijaitsevan Schneider Citect
-valvomon palvelimen välillä on toteutettu ModbusTCP-protokollalla.

Koska pääsääntöinen ohjaustapa KL-laitoksilla toteutetaan kaukolämpöverkon paine-
erolla, yksi tärkeä tehtävä oli tarkastaa kyseiset mittaukset laitoksilla ja etämittapisteissä.
Jokaisessa paikassa paine-eromittaus oli toteutettu laskennallisesti erillisistä meno- ja
paluupainemittauksista. LK273:n tapauksessa paluupainemittaus sijaitsi kolme metriä
korkeammalla kuin menopainemittaus. Tämä vääristi laskettua paineeromittausta 0.3
bar todellista suuremmaksi. Vääristymä korjattiin ohjelmallisesti lisäämällä paluupai-
nemittaukseen 0.3 bar, jolloin paine-ero saatiin näyttämään totta.

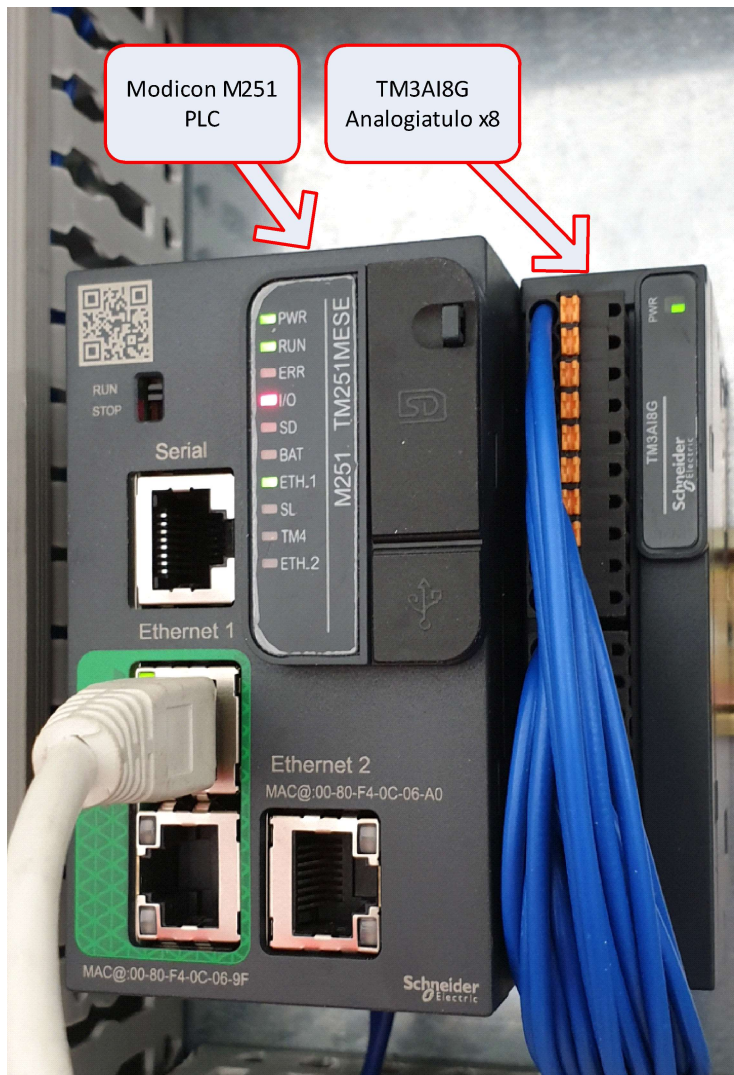
2.2 Etämittapiste - Koulu

Koulun etämittapiste on linjassa seuraavana LK273:sta katsoen (ks. kuva1). Se koostuu
Kamstrupin energiamittarista, josta paine ja lämpötilat siirretään virtaviestillä radiolähet-
timeen. Radiolähtetimen vastaanotin sijaitsee LK174:llä, josta radioviestit muunnetaan

taas virtaviesteiksi, jotka on kytketty päälogiikan IO-saarekkeen analogiatulokortteihin. Meno- ja paluupainemittaukset ovat korkeutensa puolesta alle puolen metrin päässä toisistaan, joten mittauksen korjaukselle ei ole tarvetta.

2.3 Etämittapiste - Kulmakatu

Kulmakadun etämittapiste sijaitsee haaran päässä kaupungin keskustassa olevassa kiinteistössä. Mittauksen toteutus on samanlainen kuin LK273:kin, eli omat anturit kytkettynä Modicon M251 -modulaariseen PLC:hen (ks. kuva 3), josta ModbusTCP:n avulla arvot siirretään mbNET:n 3G-reitittimeen ja siitä eteenpäin VPN-putkessa LK174:ssä sijaitsevalle Red Lion -protokollamuuntimelle. Arvot kirjoitetaan protokollamuuntimen sisäisiin muuttujiin, josta arvot ohjataan uudestaan PLC-verkon kautta LK174:n päälogiikan muuttujiin ja sitä kautta taasen valvomoon. Meno- ja paluupainemittaukset ovat korkeutensa puolesta alle puolen metrin päässä toisistaan, joten mittauksen korjaukselle ei ole tarvetta.



Kuva 3. Kulmakadulla sijaitseva Modicon M251 -modulaarinen PLC.

2.4 KPA-laitos - LK174

LK174 toimii alueen päätuotantolaitoksena. Laitoksen kokonaisteho on 53,2 MW. KPA-leijupetikattilan osuus on 18 MW. Loput 35,2 MW ovat kevytöljypolttimellisten vara/huipukattiloiden osuus (tilanne 31.12.2019). KPA-kattilan polttoaineena käytetään hevosen lantaa sekä paikallisia metsäteollisuuden jätteitä. Laitoksen päätarkoitus on tuottaa höyryä viereiselle teollisuusasiakkaalle. KPA-kattilan kapasiteetti on normaaleissa olosuhteissa riittävä siihen, että osa höyrytehosta muunnetaan lämmönvaihtimilla kaukolämpöenergiaksi. Tämä kaukolämpöenergian teho on, kylmimpiä talvipäiviä lukuun ottamatta,

riittävä kattamaan koko Hangon KL-verkon tarpeet. Laitoksen yhteydessä on myös neljä kevyen polttoöljyn tulitorvikattilaa höyryntuotannon varmistamiseksi (tilanne 31.12.2019). KPA-laitoksen mittaukset on toteutettu erillisanturein, jotka on kytketty päälogiikan IO-saarekkeiden analogiatulokortteihin. Logiikan Ethernetkortti on kytketty samaan verkkoon Citect-palvelimien (redundantti järjestelmä), Citect-asiakkaiden sekä Red Lion-protokollamuuntimen kanssa. Tätä verkkoa kutsutaan PLC-verkoksi.

Laitoksen kaukolämmön paine-ero mittaus on toteutettu samoin kuin muissakin koh-teissa, erillisillä meno- ja paluupainemittauksilla, joista lasketaan erotus. Molemmat anturit ovat hiljan vaihdettuja. Ennen asennusta niille tehtiin 5-pistekalibrointi (liite 1). Kalibroinnista kävi ilmi, että niiden lineaarisuudessa oli yksilöllisiä eroja. Nämä erot käytettiin hyväksi siten, että verkon normaalilla painealueella vähemmän näyttävä anturi asennettiin paluupainemittausta metrin alempana olevaan menopainemittaukseen. Näin saatiin kompensoitua hydrostaattinen ero.

2.5 Etämittapiste – LK162

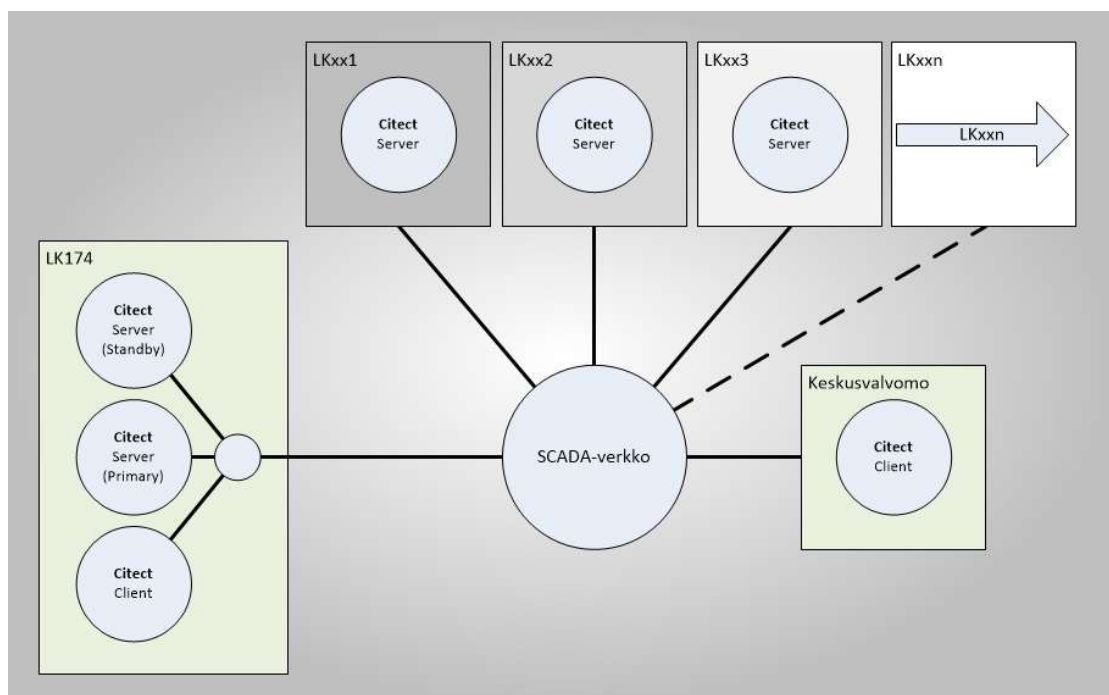
LK162 Forcit on entinen kattilalaitos, jossa nykyisin on kaksi höyrynkehittintä teollisuus-asiakkaalle. Kaukolämpöverkko on erotettu prosessista, mutta sen instrumentointi on kytketty samaan logiikkaan. Logiikkana toimii Modicon M251, ja liikennöinnin hoitaa mbNET 3G-reititin. Tämän työn laajuudessa käsitellään tätä laitosta etämittapisteenä.

3 Toteutus

3.1 Käytettävät ohjelmistot

3.1.1 Citect SCADA

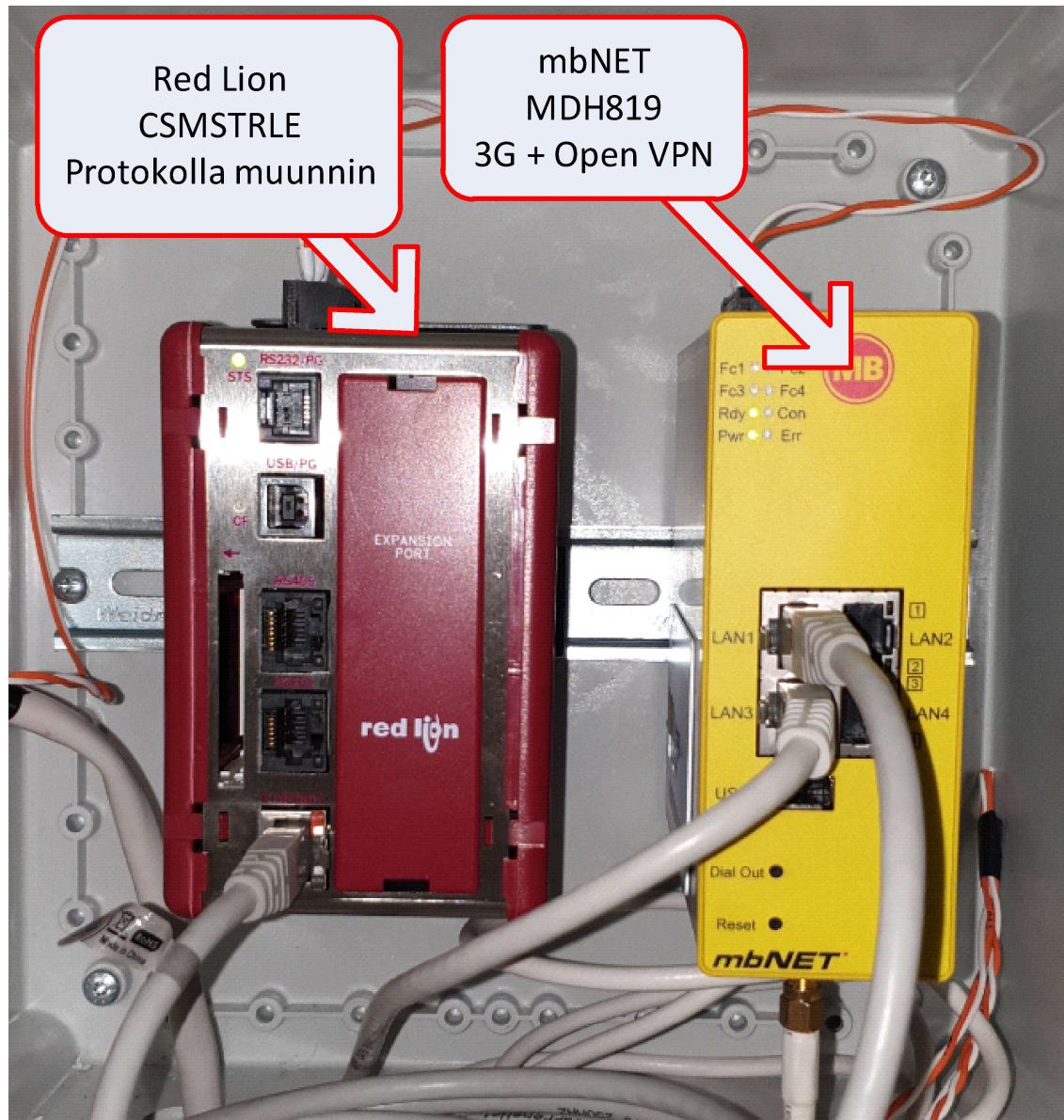
Citect on Schneiderin edustama SCADA-valvomoohjelmisto. Tämä on Advenin valvomoverkon (ks. kuva 4) pääohjelmisto. Tällä ohjelmalla toteutettiin työn vaatimat muutokset ja lisäykset valvomon visualisointiin, ohjauksiin sekä hälytyksiin.



Kuva 4. Citect SCADA -verkon periaate

3.1.2 Crimson

Crimson on Red Lionin ohjelmointityökalu. Red Lion -protokollamuunnin (ks. kuva 5) toimii muuttujien reitittämiseen eri VPN-yhteyksien takana olevilta laitoksilta. Se toimii ikään kuin puskurina eri protokollien ja yhteyksien välillä. Tällä työkalulla siirrettiin tarvittavat muuttujat eri kohteista LK273:n logiikkaan.



Kuva 5. Red Lion -protokollamuunnin sekä VPN-putkien tähtipisteenä toimiva mbNET.

3.1.3 SoMachine

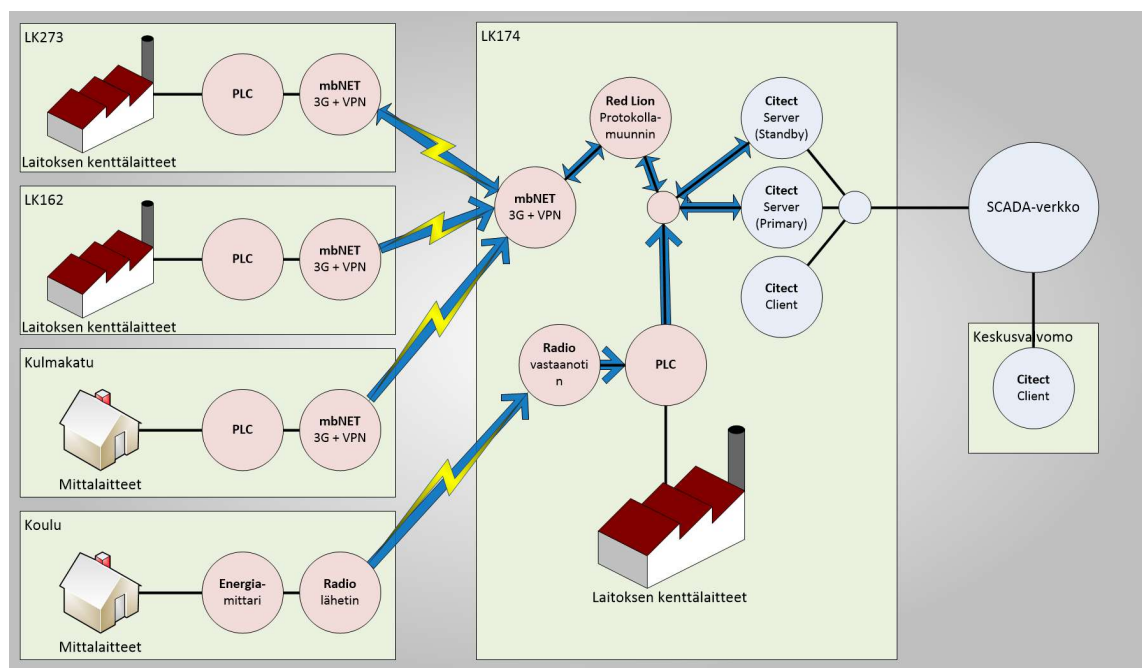
SoMachine on Schneiderin pienempien Modicon M2xx-sarjan logiikoiden ohjelmointityökalu. Tämän työn pääkohteena olevan LK273:n logiikka on kyseistä sarjaa, joten tällä ohjelmalla tehtiin suurin osa työstä.

3.1.4 Unity

Unity on Schneiderin teollisuuslogiikoiden ohjelmointityökalu. Tällainen Modicon Premium -logiikka on käytössä Hangan päälaitoksella, LK174:llä. Tähän työhön liittyen kyseistä ohjelmaa käytettiin muutaman muuttujan identifiointiin, jotta ne saatiin kerättyä Red Lioniin ja sieltä taas siirrettyä LK273:lle.

3.2 Tarvittavat muuttujat LK273:lle

Automaattisen käynnistymisen ehdoissa tarvittavat muuttujat päätettiin reitittää LK273:n logiikkaan (ks. kuva 6). Tätä puolsi se, että silloin LK273 voi toimia itsenäisesti riippumatta muiden kohteiden mahdollisista katkoista. Vaihtoehtona oli, että olisi vaan luettu kaikki LK174:n logiikkaan, tehty vertailut siellä ja ohjattu sitä kautta LK273 päälle ja pois. Vaihtoehto olisi ollut helpompi toteuttaa, mutta toimintavarmuutta saatiin lisää varsinaisella toteutuksella, sillä LK174 kriittisten komponenttien (Ethernet-kortti, prosessori ja virtalähde) hajoaminen estäisi molempien laitosten toiminnan.



Kuva 6. Tarvittavien muuttujien reititys.

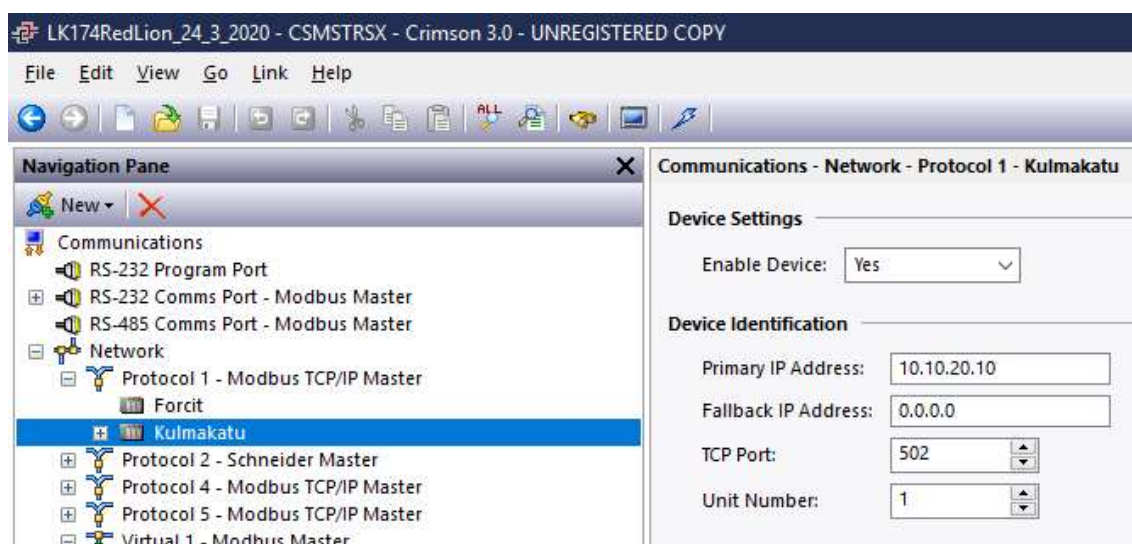
Automaattiseen käynnistykseen tarvittavat muuttujat ovat meno- ja paluupaine sekä niiden delta. Verkon seurannan kannalta otettiin mukaan myös meno- ja paluulämpötilat, sekä niiden delta (ks. taulukko 1).

Taulukko 1. LK273:lle siirrettävät muuttujat

Mihin	Nimi	Mistä
LK273.400575	KULMAKATU_MENOPAIN	Etämittapiste - Kulmakatu
LK273.400576	KULMAKATU_PALUUPAIN	Etämittapiste - Kulmakatu
LK273.400577	KULMAKATU_PERO	Etämittapiste - Kulmakatu
LK273.400578	KULMAKATU_MENO_LT	Etämittapiste - Kulmakatu
LK273.400579	KULMAKATU_MITTAPIIRIVIK	Etämittapiste - Kulmakatu
LK273.400580	*	Etämittapiste - Kulmakatu
LK273.400581	KULMAKATU_WD_VASTAUS	Etämittapiste - Kulmakatu
LK273.400582	FORCIT_KL_MENOPAIN	LK162 – Forcit
LK273.400583	FORCIT_KL_PALUUPAIN	LK162 – Forcit
LK273.400584	FORCIT_KL_PAIN_ERO	LK162 – Forcit
LK273.400585	FORCIT_KL_MENO_LT	LK162 – Forcit
LK273.400586	FORCIT_KL_PALUU_LT	LK162 – Forcit
LK273.400587	FORCIT_KL_MENOPAIN_SP_HI	LK162 – Forcit
LK273.400588	FORCIT_KL_PALUUPAIN_SP_HI	LK162 – Forcit
LK273.400589	FORCIT_KL_MENOPAIN_SP_LO	LK162 – Forcit
LK273.400590	FORCIT_KL_PALUUPAIN_SP_LO	LK162 – Forcit
LK273.400591	KPA_KOULU_MENOPAIN	Etämittapiste - Koulu
LK273.400592	KPA_KOULU_PALUUPAIN	Etämittapiste - Koulu
LK273.400593	KPA_KOULU_PERO	Etämittapiste - Koulu
LK273.400594	KPA_KOULU_MENO_LT	Etämittapiste - Koulu
LK273.400595	KPA_KOULU_PALUU_LT	Etämittapiste - Koulu
LK273.400596	KPA_KOULU_SAHKOKATKO_B13	Etämittapiste - Koulu
LK273.400597	KPA_KL_MENOPAIN	LK174 – Genencor
LK273.400598	KPA_KL_PALUUPAIN	LK174 – Genencor
LK273.400599	KPA_KL_PERO	LK174 – Genencor
LK273.400600	KPA_KL_MENO_LT	LK174 – Genencor
LK273.400601	KPA_KL_PALUU_LT	LK174 – Genencor

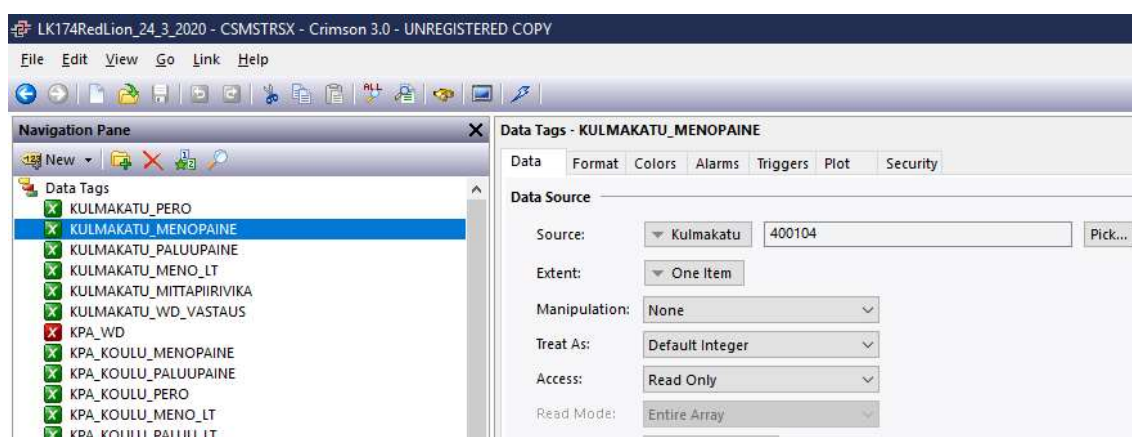
3.3 Muuttujien siirto LK273:lle

Käymme läpi, miten yksi muuttuja siirretään Kulmakadun etämittapisteestä LK273:n muistialueelle. Kuvassa 7 on esitetty yhteysmääritelmät, jossa Kulmakadun ja Red Lion:n väliseksi kommunikointiprotokollaksi on valittu Modbus TCP/IP. Myös Kulmakadun aseman IP-osoite, TCP-portti ja Modbus-laitteen numeerinen ID on aseteltu.



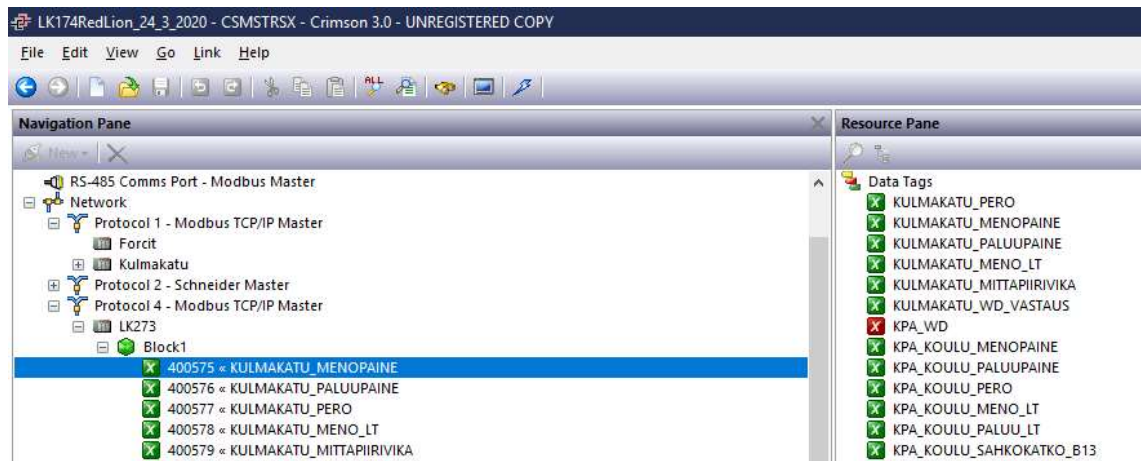
Kuva 7. Crimson -ohjelmassa tehdyt yhteysmäärittelyt.

Seuraavaksi, kuvassa 8 näkyy, miten Red Lionin sisäisen muuttujan ”KULMAKATU_ME-NOPAIN” arvo luetaan Kulmakadun laitteen rekisteristä osoitteesta 104.



Kuva 8. Crimson -ohjelmassa tehdyt eri asemissa sijaitsevien muuttujien luentamäärittelyt.

Viimeiseksi kuvassa 9 näkyy vasemmalla puolella, miten LK273 Modbus laitteeseen on luotu lista kyseisestä logiikasta tähän tarpeeseen varatuista rekisteriosoitteista. Oikealla puolella näkyy lista Red Lionin sisäisistä muuttujista, joissa näkyy myös edellä luotu ”KULMAKATU_MENOPAININE”. Kyseisen muuttujan voi hiirellä raahata, tässä tapauksessa rekisterin 400575 päälle. Lopputuloksena näkyy selvästi, että ”KULMAKATU_MENOPAININE”-muuttujan arvo kirjoitetaan nyt LK273:n rekisteriin numero 575.



Kuva 9. Crimson -ohjelmassa tehdyt sisäisten muuttujien kirjoitus LK273:n muistialueelle.

3.4 LK273:n ohjelmointi

LK273:n ohjelmoinnin voi jakaa kahteen osioon. Ensimmäinen on laitoksen käynnistys- ja sammutussekvenssit, joilla laitos käynnistyy ja sammuu hallitusti yhdellä komennolla ilman tarvetta ohjata jokaista prosessin laitetta erikseen. Toinen osio on käynnistykseen ja sammutuksen automatisointi riippuen KL-verkon paine-eroista.

3.4.1 Käynnistys ja sammutussekvenssit

Sekvenssien kriteerit määriteltiin aiemman kokemuksen pohjalta, muita toteutuksia vertaamalla sekä laitoksen käyttäjiä konsultoimalla. Sekvenssit ovat

1. Käynnistys

- 1.1. Laitoksen TLJ-, hätäseis-, sekä palopiirien on oltava hyvässä tilassa koko sekvenssin ajan. Näiden puuttuminen estää sekvenssin käynnistämisen ja näiden poistuminen sekvenssin käydessä resetoit sekvenssin.
- 1.2. Asetetaan kaikki laitoksen ohjaukset ja säätimet automaatile. Edetään kun kaikki ovat automaatile.
- 1.3. Käynnistetään sekoituspumppu. Edetään kun sekoituspumppu käy.
- 1.4. Annetaan polttimelle lupa käynnistyä. Poltinautomaatiikka hoitaa kaikki polttimeen liittyvät ohjaukset, kuten öljypumppujen, puhaltimen venttileiden ohjaukset. Edetään kun poltinpuhallin käy.
- 1.5. Odotetaan liekkiä. Jos tulee liekkihäiriö, resetoitetaan sekvenssi ja odotetaan kuittausta. Edetään kun liekkiä on tosi.
- 1.6. Odotetaan kattilan lämpenemistä. Edetään kun kattilan menovesi ylittää 85°C.
- 1.7. Avataan kattilaventtiili ja käynnistetään KL-pumppu. Edetään kun molemmat ovat tosi.
- 1.8. Kattila käy.

2. Sammutus

- 2.1. Poistetaan polttimen käyntilupa. Poltinautomaatiikka hoitaa kaikki polttimeen liittyvät ohjaukset, kuten öljypumppujen, puhaltimen venttileiden ohjaukset. 13 minuutin ajastus sekoituspumpun jälkikäynnille alkaa. Edetään kun poltinpuhallin on sammunut.
- 2.2. Odotetaan kattilan jäähtymistä. Edetään kun kattilan menovesi alittaa 85°C.
- 2.3. Suljetaan kattilaventtiili ja pysäytetään KL-pumppu. Edetään kun venttiili on kiinni ja pumppu sammunut.

2.4. Asetetaan kaikki muut ohjaukset ja säätimet manuaalille paitsi sekoituspumppu. Edetään kun edellä mainitut ovat manuaalilla.

2.5. Poistetaan sekoituspumpun käyntilupa. Jos ja kun kohdan 2.1 13 minuutin ajastin tulee täyteen, sammuu sekoituspumppu ja sen ohjaus asetetaan manuaalille. Edetään kun sekoituspumppu on sammunut ja manuaalilla.

2.6. Kattila seis.

3.4.2 Automaattinen käynnistys ja sammutus

Automaattisen käynnistyksen periaate on yksinkertainen. Laitos käynnistyy, kun jonkin mittapisteen paine-ero alittaa käynnistysrajan. Käytettävyyden kannalta ohjelma on kuitenkin yllättävän laaja, kun piti ottaa huomioon eri skenaarioita.

Kuvan 10 nimettyjen alueiden selitys:

- a) Ohjaustavan valinta automaattiseksi. Automaattinappia painettaessa kyseinen teksti muuttuu vihreäksi ilmaisten valinnan toteutumisen. Napin alla on aseteltavissa automaattitoiminnon käynnistysraja-arvo, sammutushystereesi, käynnistysviive sekä sammutusviive. Kattilan käynnistys sekvenssi alkaa, kun valittu mittapiste alittaa käynnistysrajan yhtäjaksoisesti käynnistysviiveen määrittämän ajan. Sammutus sekvenssi alkaa, kun valittu mittapiste ylittää hystereesin verran käynnistysrajan yhtäjaksoisesti sammutusviiveen määrittämän ajan.
- b) Ohjaustavan valinta käsitoimiseksi. Käsinnappia painettaessa kyseinen teksti muuttuu vihreäksi ilmaisten valinnan toteutumisen. Napin alla on erilliset napit, jotka käynnistävät, nimensä mukaisesti, joko käynnistys- tai sammutussekvenssin.
- c) Mittaus-/säätöpisteen valinta ja ohjausarvon asetus. Laitoksessa on mahdollista valita erikseen jokin neljästä etämittapisteestä painamalla kyseistä valintanappia. Vaihtoehtoisesti voidaan valita ”Automaatti”-valinta, joka valitsee kullakin hetkellä

pienimmän arvon käytössä valituista etämittauksista. Jos "Käytössä"-nappia painaa, poistuu se kyseinen mittausta sekä automaatin vertailusta, että käsivalinnasta. "Käytössä"-valinta poistuu myös itsestään, jos jokin mittauksista, joilla paine-ero mitataan, menee häiriöön. Jos kyseinen käytöstä poistuva mittausta oli käsin valittuna, muuttuu valinta d-kohdassa olevaan paikallismittaukseen. Keskimmaisessa sarakkeessa näkyy mittausten sen hetkiset arvot. Huomattavaa on, että automaatin mittauksessa näkyy yllä olevien ehtojen mukaisesti alin paine-ero, joka kuvassa on 1,51 bar. Alimmassa kohdassa on säätöpiirin asetusarvo, jota laitos pyrkii ajamaan.

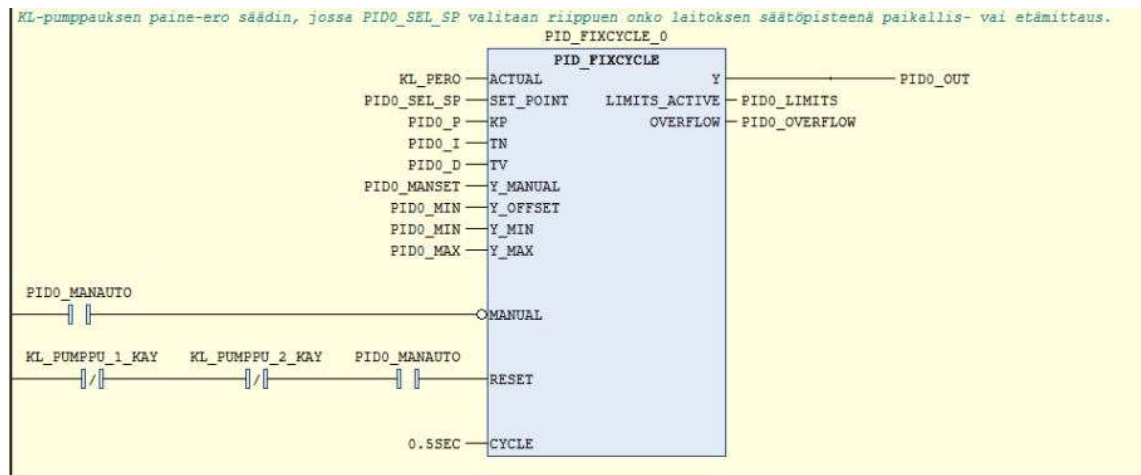
- d) Paikallismittauksen valinta. Tämä on tarpeen, jos jostain syystä halutaan ajaa laitosta entiseen tapansa tai esimerkiksi yhteyskatkoksen takia. Tällä valinnalla on oma säätöpiirin asetusarvo.

OHJAUSTAVAN VALINTA			a
AUTOMAATTI			
KÄYNNISTYS RAJA	0,7 bar		
SAMMUTUS HYST	0,2 bar		
KÄYNNISTYY	200 s		b
SAMMUU	300 s		
KÄSIN			c
KÄYNNISTÄ SAMMUTA			
ETÄMITTAUSPISTE			
VALINTA	PAINE-ERO	KÄYTÖSSÄ	
AUTOMAATTI	1,51 bar		
KOULU	2,49 bar	✓	
KULMAKATU	1,92 bar	✓	
KPA	1,51 bar	✓	
FORCIT	1,70 bar	✓	
PAINE-ERO ASETUS		0,85 bar	d
PAIKALLISMITTAUSPISTE			
VALINTA	PAINE-ERO		
PAIKALLINEN	1,53 bar		
PAINE-ERO ASETUS		1,10 bar	

Kuva 10. Citect ohjelman LK273:n sivulla oleva ohjauspaneeli.

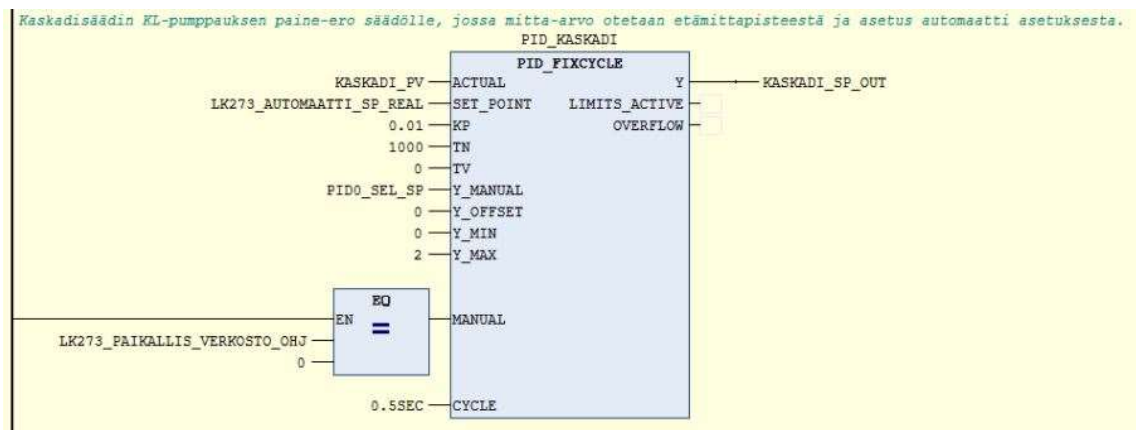
3.4.3 KL-paine-eron säätöpiiri

Säätöpiiri koostuu kahdesta PID-säätimestä. Pääsädin (kuva 11) ohjaa suoraan KL-pumppujen taajuusmuuttajien ohjearvoa. Säätimen prosessimuuttujana käytetään laitoksen paikallista laskettua paine-eroarvoa. Asetusarvona käytetään joko kuvan 10 kohdassa d olevaa asetusta, jos ollaan paikallismittauksella, tai saman kuvan kohdassa c olevaa arvoa, jos ollaan etämittauksella.



Kuva 11. LK273:n KL-pumpun ohjearvon PID-säädin.

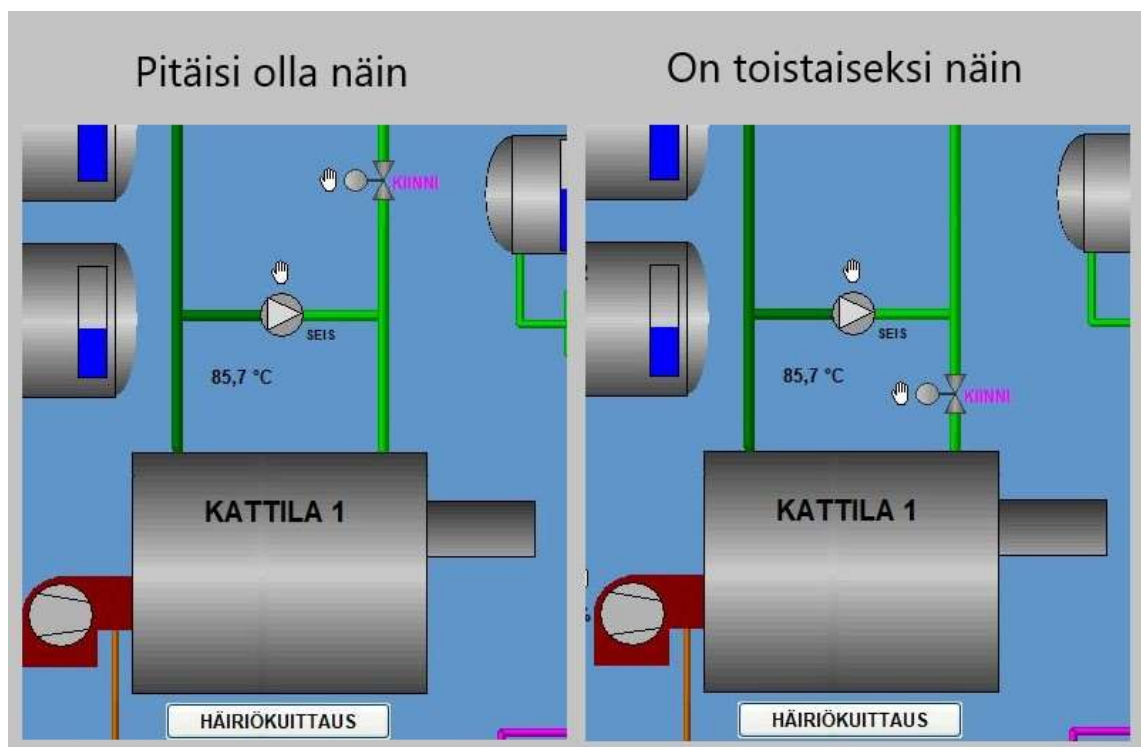
Kaskadisäätimen (kuva 12) lähtö seuraa pääsäätimen asetusarvoa, jos paikallismittaus on valittuna. Etämittapisteen valinta vaihtaa pääsäätimen asetusarvoksi kaskadisäätimen lähdön ja vapauttaa kaskadisäätimen automaatile. Säätimen prosessimuuttujana käytetään valitun etämittauksen prosessiarvoa tai automaatin ollessa valittuna käytössä olevien etämittausten alinta arvoa. Asetusarvona käytetään kuvan 10 kohdassa c annettua asetusarvoa.



Kuva 12. LK273:n kaskadisäädin KL-pumpun PID-säätimen asetusarvolle silloin, kun laitosta ajetaan etämittapisteen avulla.

3.5 Tarpeelliset putkistomuutokset

Laitoksen putkistossa on lukuisia prosessin käyttöön, varmuuteen, mittaustarkkuuteen ja tehokkuuteen liittyviä virheitä, joita olisi tarpeen korjauttaa. Tähän työhön, eli automaattiseen käynnistykseen liittyy erityisesti yksi suunnitteluvirhe ja yksi viallinen komponentti, joka estää automaattisen käynnistymisen toiminnan ja turvallisuuden. Valitettavasti näiden korjaukseen ei muiden tuotannollisten syiden takia voitu ajoittaa tälle kyseisen työn suoritusajavälille. Merkittävin virhe on kattilan sekoituspiirin putkiston virheellisestä sijoittamisesta väärälle puolelle kattilaventtiiliä. Varsinaisten PI-kaavioiden puuttuessa kuvassa 13 on kuvattu, miten sekoitusputken pitäisi olla ja miten se toistaiseksi on. Tämän kriittisen virheen lisäksi kaukolämpöpumpun takaiskuventtiili vuotaa päästäten menopuolen paineen kattilaan saakka silloin, kun laitos ei käy.



Kuva 13. Sekoituspiiri yhdistää kattilan menoputken (tummempi vihreä putki) ja paluuputken (vaaleampi vihreä putki) heti kattilanläheisyydessä. Yhdistävä sekoitusputkisto koostuu putken lisäksi kahdesta käsiventtiilistä, sekoituspumpusta ja takaiskuventtiilistä. Asennusjärjestys menoputkesta katsottuna on käsiventtiili, takaisku, pumppu ja käsiventtiili. Virtaus suunta on menosta paluuseen.

Nykyinen putkisto aiheuttaa siis sekoituspiirin toimimattomuuden kattilaventtiilin ollessa suljettuna, lisäksi sen, että vesi pääsee vapaasti virtaamaan menopuolelta suoraan paluuputkeen, koska KL-pumpun takaiskuventtiili vuotaa. Tämä on estetty sillä, että kun laitosta ei käytetä, suljetaan sekoitusputken käsiventtiili, joka tekee paikallaolemisen pakolliseksi laitosta käynnistäessä sekä sammuttaessa.

Sekoituspiirillä on kaksi turvallisuudelle tärkeää funktiota ja sen pitää olla ensimmäinen osa prosessia, joka käynnistyy, ja viimeinen, joka sammuu. Ensimmäiseksi etenkin kattilaventtiilin ollessa kiinni tai laitosvirtauksen ollessa hyvin vähäinen, sekoituspiiri pitää vedenkierron kattilassa riittävällä tasolla, jottei vesi pääse missään vaiheessa seisomaan ja siten kiehumaan polttimen ollessa päällä. Tämä on myös ehto sille, että voimme luottavasti mitata kattilan veden kokonaislämpötilaa menoputken juuressa olevalta lämpötilamittaukselta, jota tarvitaan sekä kattilan tehonsäätöön että termiseen TLJ-katkaisuun. Toiseksi ajon aikana, koska sekoituspiiri työntää kuumaa vettä paluuveden sekaan, nostaa se kattilaan menevän paluuveden lämpötilaa pienentäen kattilan rakenteellisia lämpötilaeroja. Liian suuret lämpötilaerot voivat johtaa rakenteelliseen vaurioon.

Isoissa kattiloissa sekoituspiirillä on oma säätimensä, jolla säädetään, tehokäyrän mukaan, kattilan paluuveden lämpötilaa. Tämä tehdään siksi, että paluuveden lämpötilalla on muitakin vaikutuksia. Paluuveden lämpötila on suoraan verrannollinen kattilan menolämpötilaan, joka on taas suoraan verrannollinen savukaasujen lämpötilaan ja sitä kautta taas hukkaenergiaan. Pienissä kattiloissa, kuten tässä työssä kyseessä oleva, ei-aktiivisesti säädettävä sekoituspiiri ole yleisesti ajatellen tarpeellinen, eikä kustannustehokas, ainakaan jälkiasenteisena.

4 Koestus

Putkiston virheistä huolimatta suoritettiin ohjelman koestus talven alussa. Silloin odotettiin putkiston korjaustoimien alkavan samoihin aikoihin, jolloin laitosta pääsisi heti korjausten jälkeen koestamaan uudestaan, hienosäätämään parametrit ja ottamaan käyttöön toivotunlaisesti.

Ohjelman koestus suoritettiin kahdella tietokoneella etänä LK174:n valvomosta käsin. Yhtenä koneena käytettiin varsinaista Citect-palvelinkonetta, jolla pystyi ohjaamaan ja seuraamaan näytön toimivuutta ja tekemään korjauksia, kun vikoja ilmeni. Toisena koneena oli ohjelmointityökaluna toimiva kannettava, jolla varsinainen LK273:n logiikan ohjelma oli tehty. Tämä kone oli suorassa yhteydessä logiikkaan TosiBox-laitteen VPN-yhteyden kautta, joka oli asennettu kohteeseen tämän työn ohjelmointitarpeita varten. Tällä koneella pääsi seuraamaan ohjelman kulkua ja tekemään siihen muutoksia.

Koestus sovittiin paikallisen laitostavastaavan kanssa sellaiselle hetkelle, että verkko kestäisi koestuksen aiheuttamat mahdolliset häiriöt verkkoon. Aiemmin mainittu sekoituspiirin käsiventtiili oli myös ensin käytävä paikanpäältä avaamassa paikallisen laitostavastaajan toimesta.

Ohjelmassa oli ensiyrityksellä lukuisia virheitä ja puutteita. Koska muutostyö oli aloitettu ja aika siihen varattu, käytiin ohjelmaa systemaattisesti läpi korjaten yksi kohta kerrallaan, kunnes sekvenssit toimivat. Suurimpia syitä virheiden määrään oli kokemuksen puute ja aikainen versio SoMachinesta, joka sisälsi paljon virheitä. Uudempiakin versioita olisi jo tuolloin ollut käytettävissä, mutta logiikan firmware olisi pitänyt päivittää. Päivitykseen liittyi riski siitä, että kyseinen aikainen versio logiikasta saattoi mennä helposti lukkoon, jolloin olisi pitänyt olla varalogiikka mukana. Päätettiin siis tässä tapauksessa jatkaa ohjelmointia olemassa olevan version päälle. Lisäksi ohjelmakierron luku-, laske- ja kirjoituslogiikka oli eriävä saman valmistajan Modicon Premium logiikoihin, joista itselläni oli enemmän kokemusta. Kun nämä erot oli sisäistänyt, oli korjaukset helppo suorittaa.

Kun laitos oli käynnissä, tehtiin koestuksia kaskadisäätimelle käyttäen etämittapisteitä. Kaukolämpöpiirien säätimissä on yhteisenä piirteensä rauhallisuus, koska verkoston tilavuus ja putkien pituus on suuri. Oikeat parametrit löytyivät, kun suhdesäätö oli hyvin pieni ja integraatioaika hyvin pitkä.

Koestus saatiin hoidettua loppuun, niin hyvin kuin sen voi nykyputkistolla tehdä. Järjestelmä todettiin toimivaksi.

Myöhemmässä vaiheessa talvella oli tarve ottaa laitos käyttöön. Laitoksen käyttäjä kävi avaamassa kattilan sekoituspiirin käsiventtiilit ja LK174:n käyttäjä ajoi valvomon ruudulta laitoksen ylös sekvenssiä käyttäen. Seurasin etänä sekä valvomoa että logiikan ohjelmaa, jotta olisin voinut olla avuksi ongelmien esiintyessä. Mitään ongelmia ei kuitenkaan ilmennyt, ja muutama päivä myöhemmin laitos ajettiin alas sekvenssillä, joka myös toimi moitteetta.

5 Yhteenveto

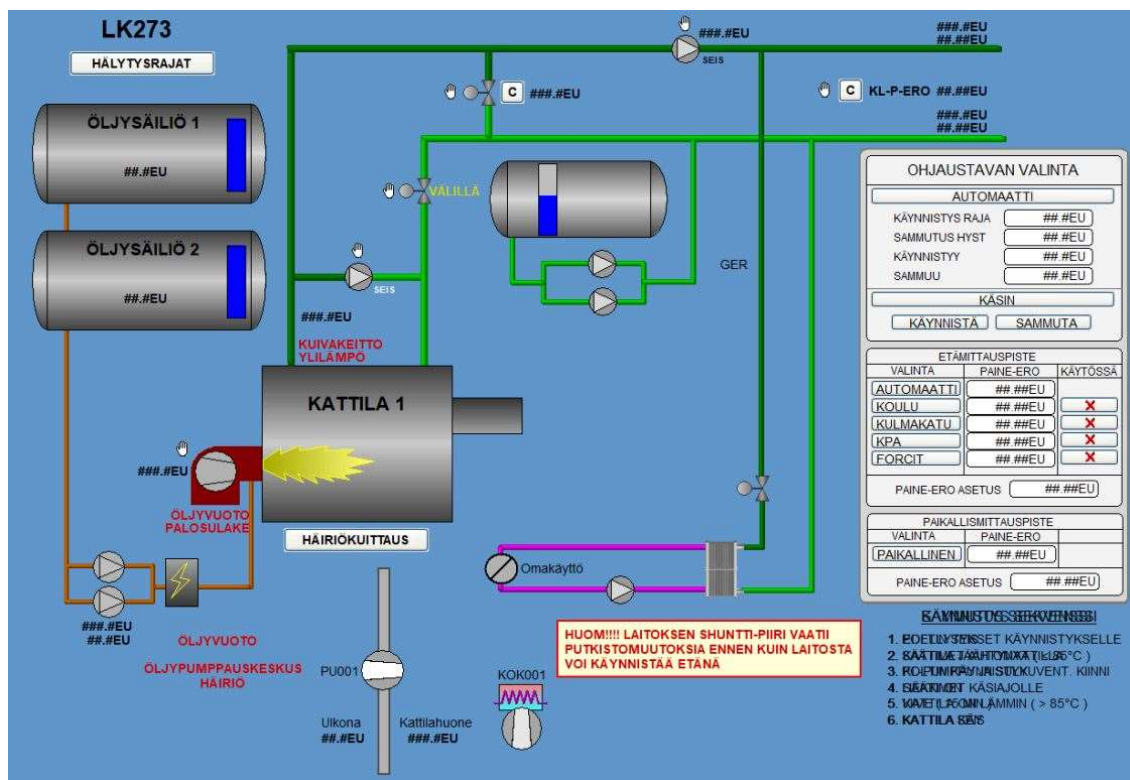
5.1 Mitä saatiin aikaiseksi

Lopputuloksena saatiin

- tarpeelliset mittaukset siirrettyä kohteeseen
- verkostomittaukset tarkastettua ja kompensoitua tarkemmiksi
- ohjelma tehtyä monipuoliselle käynnistys- ja sammutusautomaatille
- kaskadisäädin etämittausten varassa tehtävää paine-ero-säätöä varten.
- nämä kaikki muutokset käytettävään muotoon valvomon näytölle olevalle ohjauspaneelille.

5.2 Valvomokuva

Kuvassa 14 näkyy laitoskohtainen käyttöliittymä, joka on saatavissa jokaisessa LK174:n valvomokoneessa sekä etäyhteydellä keskusvalvomosta. Kuva on Citect Graphic Builderistä otettu kaappaus, jossa näkyvät kaikki elementit. Huomioitavaa on, että putkistomuutoksen viivästyksen vuoksi näytöllä on varoitus automaattiajon käytöstä.



Kuva 14. Citect -valvomon sivu LK273:n prosessin ohjaukselle.

5.3 Pohdintaa

Tämänkaltaisen muutostyö on juuri siitä, mistä automaatioissa on kyse. Vapautetaan ihmistyöntien osuus johonkin tarpeellisempaan, poistetaan viiveitä ja tehdään prosesseista johdonmukaisempia. Tässä tapauksessa kaikki tarpeelliset komponentit olivat jo olemassa, mutta niitä ei ollut vielä käytetty hyväksi, joten materiaalikustannuksia ei syntynyt lainkaan. Vastaavia kohteita löytyy Advenilta muualtakin, joihin voi käyttää osaksi tässä työssä jo tehtyjä osuuksia, jolloin työtuntien osuus laimentuu, mitä useampaan kohteeseen tämä konsepti monistetaan.

Hangon KL-verkossa on vielä yksi vanha tukilaitos, LK250, mikä rajattiin tämän työn ulkopuolelle, koska sen olemassaolon jatkumisesta ei ollut vielä tehty päätöksiä. Nyt laitoksen jatkosta on tullut myönteinen päätös. Laitoksen logiikkana toimii vanha ExoMatic-logiikka, jossa ei ole Ethernet-siltaa, eikä laitoksella ole enää toimivaa kupariyhteyttä.

Ratkaisuksi tämän laitoksen yhdistämiseksi samanlailla kuin LK273:n olemme kehittäneet kokonaisuuden, jossa ExoMatic:in RS232 sarjaliikenne portti on yhdistetty erilliseen protokollamuuntimeen, joka toimii yhdyskäytävänä samanlaiselle mbNET:n 3G-reitittimelle, kuin mitä muillakin kohteilla on käytössään. Näin saamme tämänkin laitoksen muuttujia siirretty valvomoon ja LK273:lle. Työtä ei ole vielä toteutettu, mutta laitteet ovat jo olemassa, ne ovat konfiguroitu ja muuttujien siirtorekisterit ovat valmiina. Tämän ratkaisun olemassaolo on suoraan LK273:n työssä opittujen taitojen ansiota.

Työ oli mielekäs, haastava ja monipuolinen. Apua Crimson- ja SoMachine-ohjelmissa sain Heikki Heikkalalta (FlamePro Oy) ja verkkomäärittelyksissä Timo Wiikiltä (Adven Oy).

Lähteet

- 1 Modbus Organization. MODBUS Messaging on TCP/IP Implementation Guide V1.0b. Verkkoaineisto. <http://www.modbus.org/docs/Modbus_Messaging_Implementation_Guide_V1_0b.pdf>. 10.24.2006. Luettu 30.4.2020.

LK174: KL-verkon painemittausten kalibroinnit

Genencor KL-painemittaukset

31.5.2019/Mercer

Vanhat lähettimet olivat mallia Danfoss MBS 33. Sensorin maks lämpötila oli 85 astetta.
Uudet lähettimet ovat mallia Afriso DMU-01. Sensorin maks lämpötila on 125 astetta.

Mittaustulokset

Paine (bar)	mA Vanha paluu	mA Vanha meno	mA Uusi paluu	mA Uusi meno
0	3,95	3,96	4,03	3,98
4	7,95	7,95	8,07	7,95
8	11,99	11,95	12,06	11,99
12	15,98	15,96	16,03	16
16	20	19,91	20,03	19,95

Suurin heitto uusissa lähettimissä on 0,43% mitta-alueesta ja vastaa 70mbar:ia. Valmistajan ilmoittama tarkkuus on 0,3%. Arvioin kuitenkin kalibroinnissa käytettyjen laitteiden yhteenlasketun tarkkuuden olevan n.0,3%.

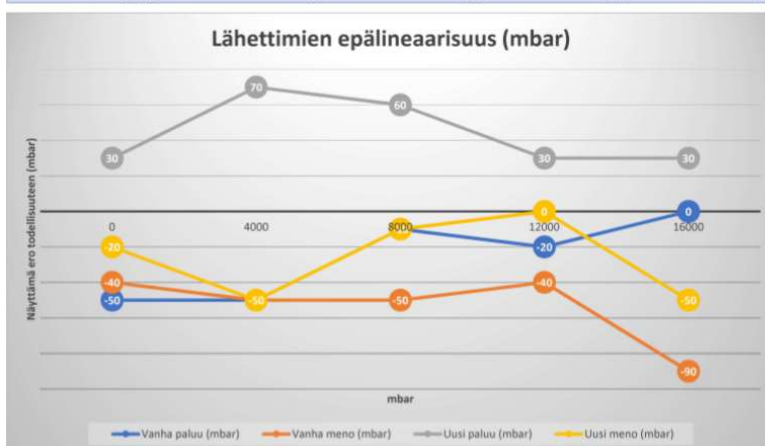
Epälineaarisuus muunnettuna mbar näyttämään

Paine (mbar)	Vanha paluu (mbar)	Vanha meno (mbar)	Uusi paluu (mbar)	Uusi meno (mbar)
0	-50	-40	30	-20
4000	-50	-50	70	-50
8000	-10	-50	60	-10
12000	-20	-40	30	0
16000	0	-90	30	-50

Päätelmä

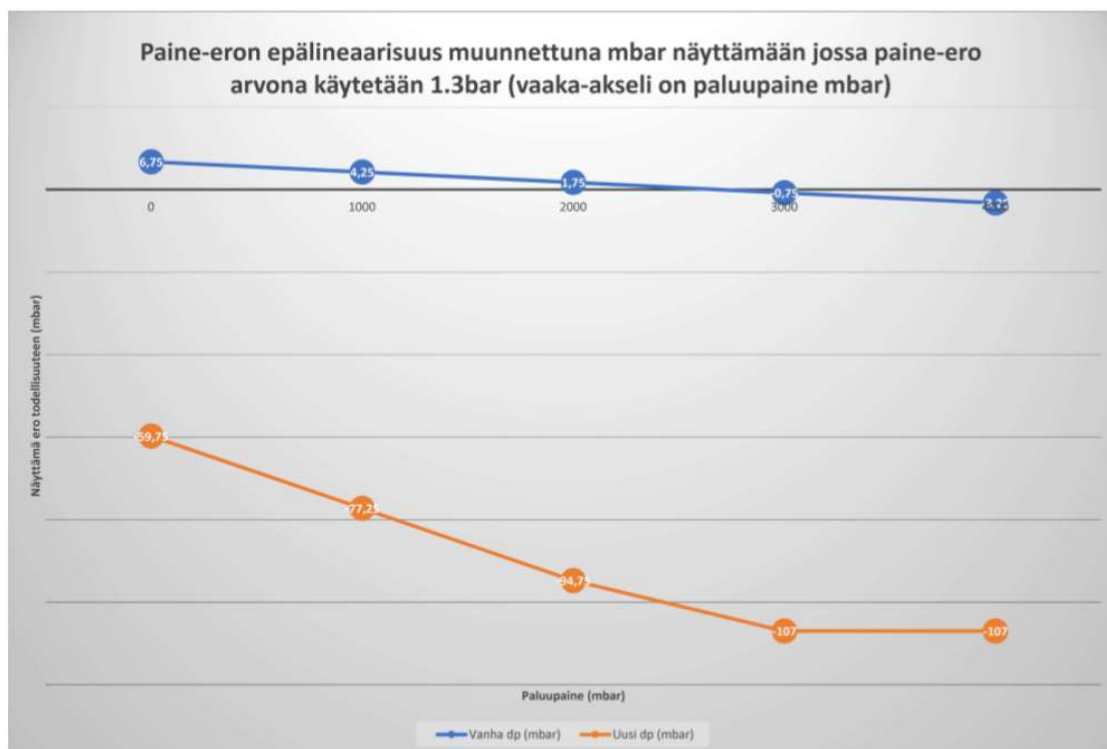
Molemmat sarjat olivat kelpoisia käyttöalue huomioiden huoneenlämmössä mitattuna. Vanhojen osalta, prosessiaineen lämpötila ylittää selvästi valmistajan ilmoittaman maksimin, joka antaa epäilyksen lähettimen oikeellisuudesta KL-veden normaalilla lämpöalueella.

Lähettimien epälineaarisuus (mbar)



Paine-eron epälineaarisuus muunnettuna mbar näyttämään jossa paine-ero arvona käytetään 1.3bar

Paluupaine (mbar)	Vanha dp (mbar)	Uusi dp (mbar)
0	6,75	-59,75
1000	4,25	-77,25
2000	1,75	-94,75
3000	-0,75	-107
4000	-3,25	-107



Paine-eron epälineaarisuus muunnettuna mbar näyttämään jossa paine-ero arvona käytetään 1.3bar ja otetaan huomioon mittausten korkeusero (1.95m)

Paluupaine (mbar)	Vanha dp (mbar)	Uusi dp (mbar)
0	201,75	135,25
1000	199,25	117,75
2000	196,75	100,25
3000	194,25	88
4000	191,75	88

